

# LEP/L3 亮度测量中的误差讨论

叶竞波 许咨宗 陈宏芳 马文淦 张子平

(中国科技大学近代物理系, 合肥)

## 摘 要

本文使用 Monte Carlo 方法讨论了 LEP/L3 亮度测量中的几个主要系统误差来源和消除方法。

## 一、引 言

LEP/L3 是西欧核子中心 (CERN) 的大型正负电子对撞机 LEP 上的探测装置之一。LEP 第一阶段运行的质心系能量为 100GeV, 达到  $Z^0$  能区, LEP/L3 的亮度监测系统是专门为此能区提供可靠的亮度监测而设计的<sup>[1]</sup>, 它由倾斜多丝正比室 (PIC) 和其后的 BGO 电磁量能器组成 (见图 1), PIC 在距离对撞点 2584mm 处环绕束流管道放置, 它可以对穿过其间的带电粒子作精确的位置测量, 粒子能量由其后的量能器测量。通过测量小角度的 Bhabha 事例率, 即在亮度监测系统的位置和能量分辨范围内测量背对背的  $e^+e^-$  而对亮度进行监测, 当  $N$  为亮度监测系统单位时间内接收的 Bhabha 事例数,  $\sigma$  为该亮度监测系统对 Bhabha 过程的接收截面, 则  $L = N/\sigma$  为测得的亮度。亮度监测系统对进入其接收范围内的 Bhabha 事例的接收效率设为 100%, 接收度选为  $30\text{mrad} \leq \theta \leq 62\text{mrad}$ ,  $0 \leq \phi \leq 2\pi$ , 要求在绝对亮度的测量中误差小于 2%<sup>[2]</sup>, 据此我们对亮度测量中引起系统误差的主要因素进行讨论。

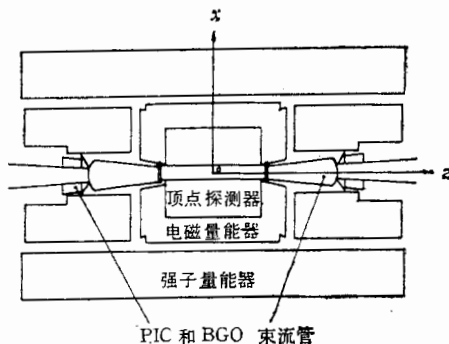


图 1 LEP/L3 装置示意图

由  $L = N/\sigma$  直观地看出引起  $L$  系统误差的来源是  $\sigma$  的计算误差和对  $N$  的测量误差. 为此, 我们完成了 LEP/SLC 能区的 Bhabha 散射数值计算事例产生程序 BHABHAZ<sup>[3]</sup> 和对该程序产生的 Monte Carlo 事例进行简单处理的数据分析程序 BZANA. BHABHAZ 中包括了完整的 QED 修正, 单圈图的精确结果, 并记入  $Z^0$  效应, 同时还考虑了实验上适用的硬光子效应(非共线角  $< 5^\circ$ ). BZANA 则对束流参数、探测器边缘模糊和探测器

在实验室坐标系中的位置误差等因素引起的对  $N$  的测量误差进行了模拟. 文章第二部分简单介绍 BZANA 的流程和构想, 第三部分对亮度测量中的主要误差逐条讨论.

## 二、BZANA 简介

事例产生程序 BHABHAZ 已在文献 [3] 中作了详细介绍, 这里只简单介绍程序 BZANA 的流程和构想.

图 2 为数据处理程序 BZANA 流程图. 程序中假定 LEP/L3 亮度监测系统对进入其接收范围内的 Bhabha 事例的探测效率为 100%. 通过对同一组数据进行对撞点模糊, 探测器边缘模糊, 探测器在实验室系中位置偏差等处理, 得到不同的事例数  $N'$ , 对应亮度  $L'$ ; 设  $N$  为理想条件(即未进行上述处理)下的接收事例数, 对应亮度  $L$ , 在不考虑  $\sigma$  的计算误差 ( $d\sigma = 0$ ) 时, 因  $N$  的测量引起的

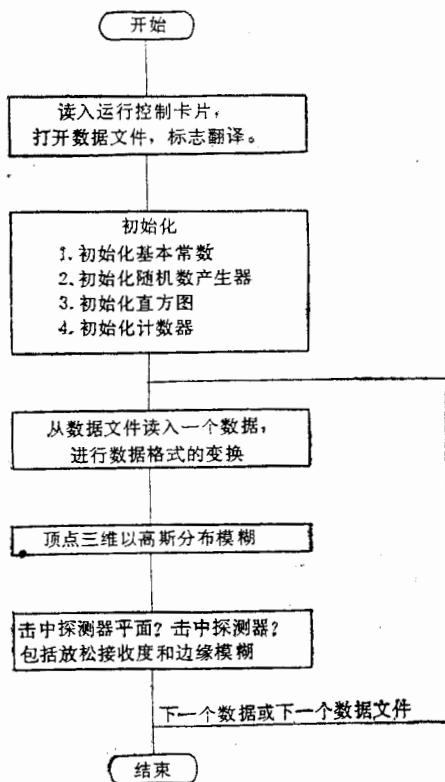


图 2 程序 BZANA 流程图

误差为:

$$\Delta L/L = |L' - L| \cdot L^{-1} = |N' - N| \cdot N^{-1}$$

由此可讨论各种误差因素的大小.

## 三、结果与讨论

使用 BHABHAZ, 取  $\sqrt{s} = 100\text{GeV}$ , 在 L3 探测器的前向区 ( $1.5^\circ - 4^\circ$ ) 产生了 60000 个 Bhabha 事例, 同时给出截面和各项修正值. 图 3 是 L3 亮度监测系统对 Bhabha 过程的接收截面随质心系能量的变化, 实线为  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma_{\text{coll}}$  过程, 记为  $\sigma_r$ , 即记入共线硬光子效应, 这里共线硬光子暂取为 PIC 角分辨 ( $0.12 \text{ mrad}$ ) 内的硬光子; 虚线为  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  过程, 记为  $\sigma_0$ . 在  $\sqrt{s} = 100\text{GeV}$  时,  $\sigma_r = 63.60\text{nb}$ ,  $\sigma_0 = 51.46\text{nb}$ ,  $(\sigma_r - \sigma_0) \cdot \sigma_0^{-1} = 23.60\%$ , 在实验中实际测到的是  $\sigma_r$ . 根据文献 [3],  $\sigma_r$  的计算精度为: 电磁

修正和弱修正好于  $\alpha/\pi \sim 0.23 \times 10^{-2}$ , 硬光子修正好于  $\alpha/\pi(\Delta, \delta)$ , 这里  $\Delta, \delta$  分别为能量分辨率和角分辨率. 在我们的计算中,  $\Delta = 0.01, \delta \approx 0.001$ , 所以硬光子修正好于  $2.3 \times 10^{-3}$ , 因此可以认为  $\sigma_r$  的计算精度好于 0.23%. 而且从文献 [3] 知道在 L3 亮度监测系统的接收范围内的弱修正  $< 0.3\%$ , 所以弱修正在亮度测量中是很小的.

在实验上应考虑由于共线硬光子截断角  $\tau$  的取值所导致的误差, 即  $\frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \cdot \delta/\sigma$ , 从表 1 可

以看出, 当  $\tau$  取 0.12 mrad 时, 误差  $\frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \cdot \delta/\sigma =$

2.5%, 而当  $\tau$  取 0.36 mrad 时,  $\frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \cdot \delta/\sigma =$

1.05%. 在这里暂取  $\tau$  为 0.36 mrad, 对应  $\sigma_r = 66.18 \text{ nb}$ .

将 BHABHAZ 产生的 60000 个事例用 BZANA 处理, 分别研究束流参数、探测器分辨率和探测器在实验室坐标系中的位置误差等因素对亮度测量带来的系统误差.

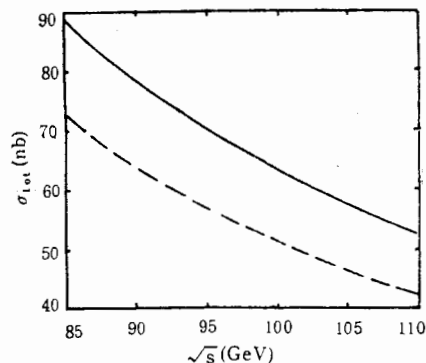


图 3 LEP/L3 亮度监测系统对 Bhabha 散射的接收截面随质心系能量的变化

表 1 硬光子截断  $\tau$  与其导致的误差

$\tau(\text{mrad})$	$\sigma_{\text{tot}}(\text{nb})$	$\Delta(\%)^*$
0.12	63.5962	2.5
0.24	65.2175	1.5
0.36	66.1843	1.05
0.48	66.8787	—

\*  $\Delta = \frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \cdot \delta/\sigma \cdot 100\%$ , 这里  $\delta$  取为 0.12 mrad.

### (一) 束流参数

表 2 给出一组束流参数的值<sup>[2]</sup>, 我们的研究是基于这一组值的. 图 4(a) 是对撞点中心沿  $x$  轴移动  $x_0$  (见图 1) 导致的系统误差, 即束流参数为:  $(x, y, z) = (x_0, 0, 0), (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = (0, 0, 0)$  时的系统误差. 由于 Bhabha 散射以及 LEP/L3 的亮度监测系统. 在  $\phi$  角上是对称的, 所以图 4(a) 也代表了对撞点在  $xy$  平面上沿任何方向移动所导致的系统误差. 在  $x_0 < 150 \mu\text{m}$  时, 误差  $\Delta < 0.41\%$ .

表 2 一组束流参数典型值

$x$	$y$	$z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
100 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	1 mm	300 $\mu\text{m}$	12 $\mu\text{m}$	33 mm

当束流参数为  $(x, y, z) = (0, 0, z_0), (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = (0, 0, 0)$  时, 误差与  $z_0$  的关系见图 4(b). 看到在  $z_0 = 30 \text{ mm}$  时,  $\Delta = 3.9\%$ , 这已超过了要求测量误差小于 2% 的

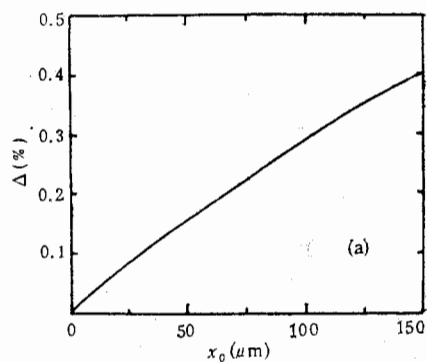


图4(a) 对撞点中心沿  $x$  轴移动  $x_0$  时导致的系统误差

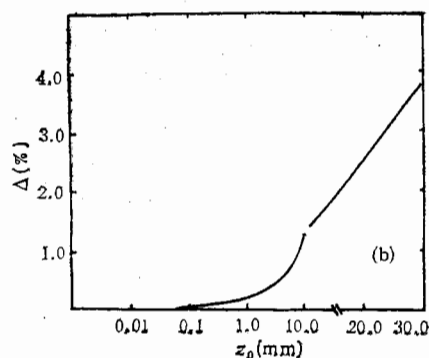


图4(b) 对撞点中心沿  $z$  轴移动  $z_0$  时导致的系统误差

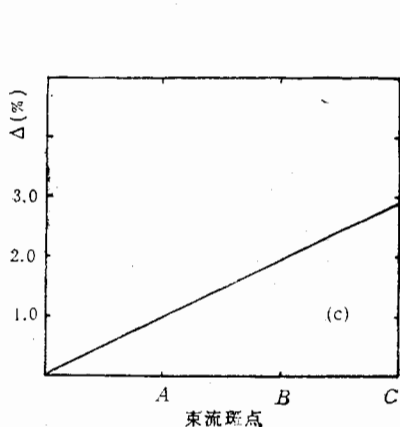


图4(c) 束流斑点大小与系统误差的关系

	$\sigma_x(\mu\text{m})$	$\sigma_y(\mu\text{m})$	$\sigma_z(\text{mm})$
A:	50	50	10
B:	100	100	20
C:	150	150	30

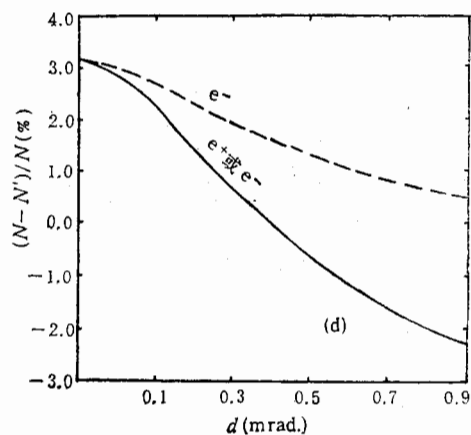


图4(d) 放松接收度消除系统误差。图中虚线为只放松  $e^-$  的接收度, 实线为放松  $e^+$  或  $e^-$  的接收度

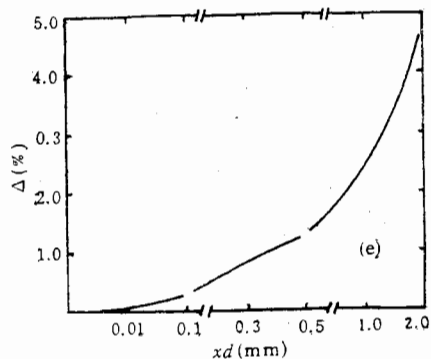


图4(e) 探测器沿  $x$  方向移动  $xd(\text{mm})$  所导致的系统误差

指标。

在图 4(c) 中假定束流对撞中心在实验室坐标系原点,但在  $x, y, z$  方向呈高斯分布,半高宽分布为  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 。在三个不同大小的束流斑点 (A, B, C) 的情况下,系统误差随束流斑点大小的线度呈线性变化。

从图 4(a) 至图 4(c) 可以得出结论:束流参数对系统误差的贡献是不可忽略的。仿照文献[4]的作法,我们采用放宽出射  $e^+$  或  $e^-$  的接收度的方法来消除它。这种方法的基本思想是,由于对撞点是非几何点,则在亮度监测系统一臂收到 Bhabha 散射的一个电子时,另一个本应也收到的散射电子却跑出了接收范围 (30mrad—62mrad),于是可以用放宽一个散射电子的接收度来消除这种误差,即当散射  $e^-$  落在 30mrad—62mrad 时,对相应  $e^+$  接收范围放宽为  $(30 - d)$  mrad— $(62 + d)$  mrad,同样当散射  $e^+$  落在 30 mrad—62mrad 时,  $e^-$  的接收范围也放宽为  $(30 - d)$  mrad— $(62 + d)$  mrad。取适当的  $d$  就可以消除因束流参数带来的误差,从图 4(d) 中的实线看出,  $d$  应取 0.4mrad。模拟中束流参数取表 2 中的值。

## (二) 探测器分辨率

从模拟结果可以确认在对撞顶点模糊和不模糊的情况下,探测器边界的模糊给测量带来的误差都远小于 60000 个事例的统计误差,可以忽略不计。

## (三) 探测器在实验室坐标系中的位置误差

把探测器沿  $x$  轴移动  $xd$ ,从图 4(e) 中可以看出在  $xd < 0.5$  mm 时,误差  $\Delta < 1.5\%$ 。如果此时放宽接收度取  $d = 0.4$  mrad,经计算误差可降低到 0.13%。

综上所述,如果取  $d = 0.4$  mrad,在  $N$  的测量中可以作到系统误差小于 0.13%,加上  $\sigma_r$  的计算误差 0.23%,共线硬光子截断  $\tau$  导致的误差 1.05%,在 L3 亮度监测中可以作到误差小于 1.41% (未考虑统计误差)。

## 参 考 文 献

- [1] TECHNICAL PROPOSAL L3 MAY 1983, CHAPTER 9 MONITOR SYSTEM.
- [2] M. Athanas et al., Normalization in L3 contribution by the L3 Luminosity Monitor subgroup 1988.
- [3] M. GRECO, *Phys. Lett.*, B177 (1986), 97; 叶竞波等,高能物理与核物理,13(1989),576
- [4] J.F. CRAWFORD, E. B. HUGHES, L.H. O'NEILL AND R. E. RAND, *INST. AND METH.*, 127 (1975), 173—182.

## ERROR DISCUSSION OF LEP/L3 LUMINOSITY MEASUREMENT

YE JINGBO XU ZIZONG CHENG HONGFANG MA WENGAN ZHANG ZIPING  
(Modern Physics Department, University of Science and Technology of China, Hefei)

### ABSTRACT

Through Monte Carlo method major factors of the system error in LEP/L3 Luminosity measurement and methods to reduce them are discussed.